



**TRABAJO DE GRADO**

**APLICACIÓN DE MODELOS SIMULADORES PARA OBTENCIÓN DE ENERGIA A  
PARTIR DEL BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA.**

**JUAN MANUEL ESTEBAN MENA**

**TUTOR: ERIKA JOANA RUIZ SUÁREZ**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**ESP. PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

**BOGOTÁ D.C.**

**2017**

# **APLICACIÓN DE MODELOS SIMULADORES PARA OBTENCIÓN DE ENERGIA A PARTIR DEL BIOGAS EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA.**

## **APPLICATION OF SIMULATOR MODELS FOR ENERGY OBTAINING FROM BIOGAS IN THE SANITARY FILL DOÑA JUANA.**

**Juan Manuel Esteban Mena**

### **RESUMEN**

En este artículo, se analiza y se estima la cantidad de biogás que se podría obtener a través de la descomposición anaeróbica de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario Doña Juana, captándola para generar energía eléctrica. A través de información documentada, Estudio de Casos, Experiencias de acuerdo a mi trabajo realizado en la UAESP y la valoración de la cantidad de Residuos que se depositan en el Relleno Sanitario Doña Juana. Se emplearon dos modelos para la estimación de proyección de biogás capturado (LANDGEM E IPCC), en donde el modelo LandGEM a diferencia del modelo IPCC es capaz de modelar la producción de muchos más gases generados a partir de la descomposición de los residuos, todos ellos diferentes al metano, asociados a los procesos llevados a cabo en el RSDJ. Adicionalmente LandGEM permite realizar inventarios de gases en el año. De esta manera con la implementación de estos modelos la producción de biogás seria de 66.135.403 m<sup>3</sup> al año, de esta manera es posible demostrar que con el mayor aprovechamiento de los residuos depositados en el RSDJ coadyuvado con el método LandGEM se genera mayor cantidad de biogás que se convierte en energía eléctrica, la cual puede ser consumida por la Ciudad de Bogotá y los municipios de sus alrededores.

**Palabras Claves:** Biogás, Residuos, Relleno Sanitario Doña Juana, Chimeneas, Gas, Método, LandGEM, IPCC.

## ABSTRACT

*In this article, we analyze and estimate the amount of biogas that could be obtained through the anaerobic decomposition of residues disposed in the Doña Juana Sanitary Landfill, capturing it to generate electric energy. Through documented information, Case Studies, Experiences according to my work carried out at the UAESP and the assessment of the amount of waste that is deposited in the Doña Juana Sanitary Landfill. Two models were used for the estimation of projected biogas captured (LANDGEM AND IPCC), where the model LandGEM unlike the IPCC model is able to model the production of many more gases generated from the decomposition of the residues, all of them Different to methane, associated to the processes carried out in the RSDJ. Additionally, LandGEM allows gas inventories to be carried out during the year. In this way, with the implementation of these models, the production of biogas would be 66,135,403 m<sup>3</sup> per year, so it is possible to show that the greater use of the waste deposited in the RSDJ contributed by the LandGEM method generates more Biogas that is converted into electrical energy, which can be consumed by the City of Bogotá and the surrounding municipalities.*

**Keywords:** *Biogas, Waste, Doña Juana Landfill, Fireplaces, Gas, Method, LandGEM, IPCC.*

## **1. Justificación del Tema de Estudio**

Bogotá cuenta con uno de los mayores rellenos sanitarios en el que se están desaprovechando las cualidades fisicoquímicas de los Residuos, lo que directamente viene afectando la capacidad instalada y el tiempo de uso del relleno, a la población civil y al ambiente (aire, suelo y agua) por la generación y emisión de gases de efecto invernadero, por el vertimiento constante de lixiviados que deterioran la calidad de los suelos.

## **2. Planteamiento Del Problema**

A través del tiempo con el crecimiento de la población, se ha visibilizado de la misma manera el incremento de Residuos compuestos estos por hojas caídas de los árboles, el corte de césped, restos de comidas y desechos animales, los cuales en su proceso de biodegradación natural, mediante la descomposición de los microorganismos generan gas metano, más sin embargo, solo una pequeña parte de estos es aprovechada de manera eficaz por agricultores o pequeñas empresas que recolectan estos desechos en centrales de abasto o industrias de alimentos, para ser transformados en materias primas.

Mas sin embargo esto no ha sido suficiente, toda vez, que son más altos los volúmenes de residuos orgánicos desechados por todos los habitantes de la ciudad, los cuales llegan al relleno sanitario Doña Juana, lo cual conlleva, a una gran afectación de los recursos suelo, fuentes hídricas y aire.

### **3. Justificación**

El presente artículo, muestra un panorama general del biogás, con el propósito de identificar de manera general, el potencial que se puede obtener para transformar los residuos que se depositan en el Relleno Sanitario Doña Juana, en una manera alternativa de energía amigable con el ambiente.

Es como de esta manera a lo largo de este artículo se investigará la viabilidad de generación de energía en el relleno sanitario de Doña Juana, utilizando Residuos. Para así poder identificar como se aprovechan de mejor manera los residuos que allí se depositan y así poder mitigar el impacto ambiental que estos ocasionan.

#### **4. Objetivos**

##### **a. Objetivo General**

Aplicar los modelos simuladores para la obtención de Energía en el relleno sanitario Doña Juana a partir del Biogás con el máximo aprovechamiento de Residuos.

##### **b. Objetivos Específicos**

- i. Definición y proceso para la obtención del Biogás.
- ii. Análisis, Características y Manejo de los Residuo depositados en el Relleno Sanitario Doña Juana.
- iii. Aplicabilidad de los Modelos de proyección para la obtención de Biogás.

## 1. EL BIOGÁS Y EL PROCESO PARA SU OBTENCIÓN

Como su nombre lo indica el biogás es aquel gas producido mediante un proceso biológico, por medio de la fermentación anaerobia; sin la presencia de oxígeno, la materia orgánica se descompone en su totalidad, generando una mezcla de gases. Este se encuentra compuesto principalmente por Gas Metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), asimismo de otros gases en cantidades menores, como se muestra en el siguiente recuadro<sup>1</sup>.

GAS	FORMULA QUIMICA	VOLUMEN
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Monóxido de Carbono	CO	0.1

Tabla 1 Fuente: Procesos Biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje. Elena Campos, Xavier Elías y Xavier Flotats. Ediciones Díaz Santos. Madrid. 2012.

### 1.1 Proceso para la Obtención de Biogás

El proceso para la obtención del biogás se divide en varios pasos, los cuales explicare a continuación:

La primera etapa denominada, Hidrolisis, en el cuál los compuestos iniciales de la materia, se fragmentan en compuestos orgánicos simples, así mismo, las bacterias hidrolíticas liberan enzimas que descomponen el material por medios bioquímicos.

Posteriormente en la etapa de acidogénesis, por medio de bacterias fermentadoras que forman ácidos dividen los productos intermedios formados en el proceso anterior, formando ácidos grasos más bajos, junto con Dióxido de Carbono e Hidrógeno.

---

1.Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). 2010.



En la etapa de acetogénesis, se forma el ácido acético, que por medio de bacterias acetogénicas, las cuales consumen hidrogeno junto con dióxido de carbono, para la producción del metano.

Finalmente, en la etapa denominada metanogénesis, según lo mencionado anteriormente, el ácido acético junto con el hidrógeno y el dióxido de carbono se convierten en metanos por medio de arqueas metanogénicas estrictamente anaeróbicas, produciendo de esta manera biogás.

Todas estas fases ocurren de manera paralela en un proceso de etapa única, sin embargo, las bacterias implicadas en las diferentes fases, cumplen un papel muy importante y por esta razón muestran diferentes necesidades como la condición ambiental, en la que se requiere de diferentes ambientes, para así evitar consecuencias ambientales negativas y riesgos de seguridad.

## 1.2 Materia Primas Para la Obtención de Biogás

Las materias primas que se utilizan para la obtención de Biogás, están compuestas físicamente por:

### A. Restos Vegetales de:

- ✓ Podas.
- ✓ Malezas.
- ✓ Preparación de alimentos frescos.
- ✓ Alimentos procesados.
- ✓ Fibras textiles de algodón.
- ✓ Papeles, Servilletas y Cartones.

### B. Eses de animales, tejido óseo, órganos de animales, sangre, contenido ruminal y/o estomacal y sobras.

### C. Residuos Líquidos.

#### D. Residuos de Tierra y/o Lodos.<sup>2</sup>

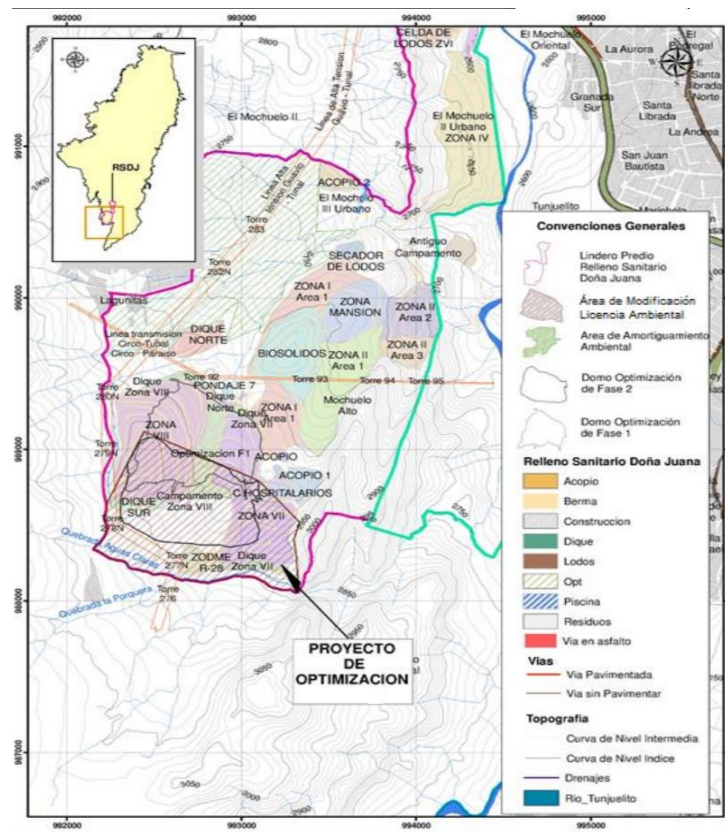
RESIDUOS	SOLIDOS VÓLATILES %	Producción de Biogás (Nm <sup>3</sup> Mg <sup>-1</sup> )
Estiércol	10 a 20	15 a 45
Residuos proceso aceite de Soya	90	800 a 1000
Aceite Residual de Pescado	80 a 85	350 a 600
Residuos de Matadero	15 a 20	50 a 70
Suero de Leche	7 a 10	40 a 55

Tabla 2 Posible potencial de producción de Biogás de determinados residuos. Fuente: (R.(Eds), 2008)

## 2. RESIDUOS QUE INGRESAN AL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA

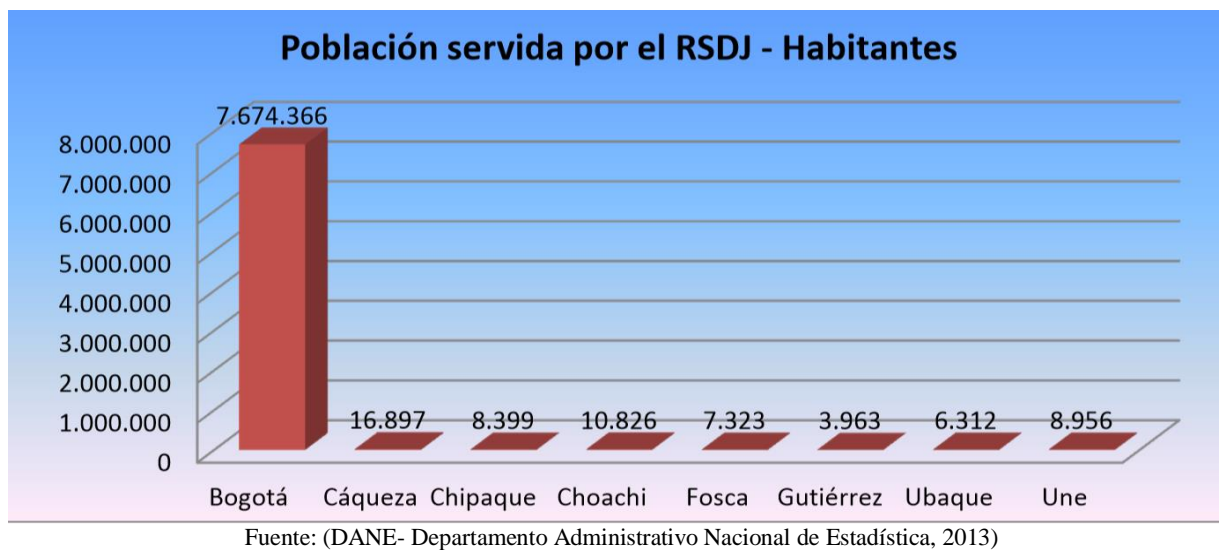
El relleno sanitario Doña Juana se encuentra ubicado en la localidad de Usme, vía Villavicencio, el cual dispone un adecuado manejo de los Residuos Sólidos Urbanos.

En la imagen 1 se muestra el Plano de Localización General del Relleno Sanitario Doña Juana.



El Relleno cuenta con una capacidad para albergar un volumen de residuos de 16'072.533 m<sup>3</sup>. Es así como para definirlo, se ha tomado un registro histórico multianual del ingreso al Relleno Sanitario Doña Juana, y se ha proyectado con diferentes métodos, la posible curva de crecimiento de residuos a recibir.

En la imagen 2, se muestra el listado de municipios a los cuales se presta el servicio de recepción de vehículos recolectores por áreas servidas.



## 2.1 Caracterización de los residuos que ingresan al RSDJ

Los residuos que llegan a diario al RSDJ varían continuamente en su composición, diversidad y cantidad de acuerdo a múltiples factores que se presentan desde la generación de los mismos, pasando por su recolección, transporte, hasta su disposición final en las instalaciones dispuestas para tal fin. Con esta información es posible estimar con más precisión, las cantidades de emisiones gaseosas potencialmente producidas.

Posteriormente se toma un análisis con información realizada por CGR Doña Juana S.A. E.S.P. en donde los camiones fueron tomados al azar y sus residuos fueron separados, pesados y caracterizados.

Estos valores se promedian obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3

<b>Material</b>	<b>Promedio en porcentaje %</b>	<b>Peso diario teórico Ton</b>	<b>Peso diario aforado Ton</b>
Orgánicos	74,50	4469,83	4809,53
Jardinería / Poda	0,00	0,00	0,00
Papel	4,29	257,21	276,76
Madera	2,08	124,68	134,15
Textiles	3,75	224,81	241,90
Pañales	0,00	0,00	0,00
Plásticos / inertes /otros	15,39	923,47	993,66
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>6000,00</b>	<b>6456,00</b>

Tabla 3 Aforo y caracterización residuos, Fuente: CGR DOÑA JUANA ESP

**NOTA:** Base de cálculo aforada 6456 Ton/día.

## 2.2 Manejo de los Residuos en el RSDJ para la obtención de biogás

### 2.2.1. Descargue de Residuos

En esta etapa todos los camiones accederán a la entrada de la zona de descargue de residuos, excepto los que transportan residuos hospitalarios, que se disponen en la celda específica para los mismos.

Los vehículos ingresarán hasta el frente realizando el descargue de los residuos sobre el patio de volteo. Una vez efectuada la descarga en el lugar indicado, el vehículo saldrá de la plataforma por el camino de salida que se le indique, sin entorpecer la llegada de nuevos vehículos al frente. Cuando se reciban residuos diferentes a los domiciliarios (descargues especiales, decomisos, etc.), se deberá hacer un reporte en el informe diario y registrarlo en

la bitácora de obra que se lleva para las actividades de la operación para su evaluación y archivo.

#### 2.2.2. Disgregación

Una vez descargados los residuos se procederá a disgregarlos mecánicamente, con el objeto de romper las bolsas plásticas presentes en la masa para hacer más homogéneos los residuos y así posibilitar la salida de gases, buscando tener una mayor capacidad de disposición de residuos.

#### 2.2.3. Compactación

La compactación de las basuras deberá desarrollarse inmediatamente después, o al tiempo de la disgregación. Esta consiste en el confinamiento de la mayor cantidad de basuras ocupando el menor volumen posible lo cual limita la deformación de la red de evacuación de Biogás.

En la Imagen 2 se muestra los Residuos del Relleno Sanitario Doña Juana.



### **3. GENERACIÓN DE BIOGÁS EN EL RSDJ**

Para la generación de biogás en el RSDJ, se construyeron los primeros cuerpos de gavión de chimeneas. Estos se deberán realizar en la medida en que se van construyendo los niveles de residuos.

Las chimeneas servirán para evacuar el biogás de forma pasiva, permitirán conectar en cada uno de los niveles del relleno, a los filtros en tubería para berma o en el futuro conectar los dispositivos de succión para el aprovechamiento de gas. Antes de salir a superficie de domo final, el cuerpo de la chimenea debe ser modificado de la siguiente manera: El tubo continúa por los últimos tres metros sin perforación, y sobresale 1.0 m del relleno, terminando en un sifón invertido mediante la colocación de 2 codos de 6", para evitar el ingreso de agua o suciedad.

El gavión junto con el rajón, deja de construirse en el último tramo dejando lugar al sello hidráulico con la arcilla del cierre definitivo.

Con base en los análisis de estabilidad que se realizarán de forma periódica en el relleno, se podrá decidir si es necesaria la instalación de más chimeneas o si se debe perforar alguna más en un sector determinado.

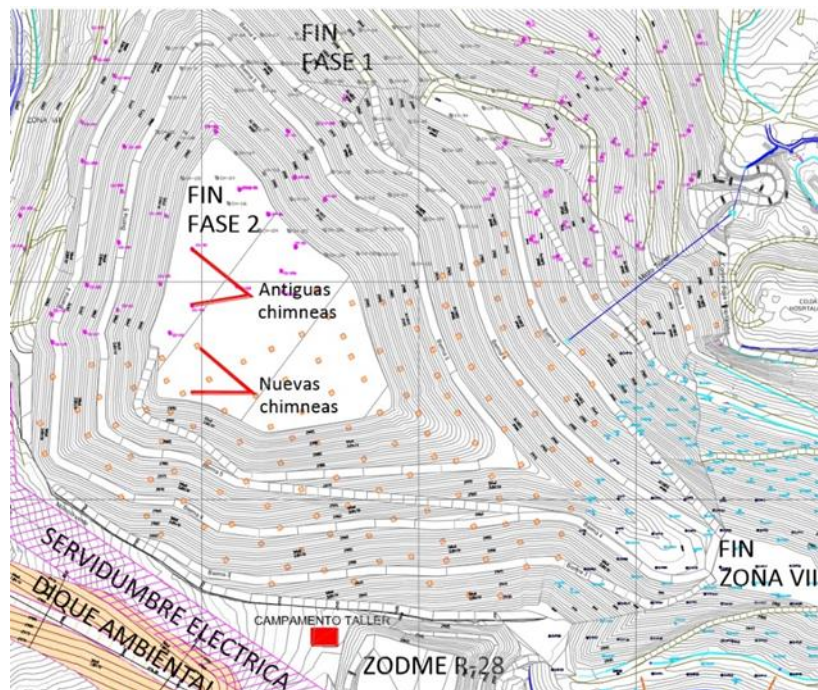
En las zonas antiguas que sirven de apoyo para los residuos, será necesario realizar empalmes específicos entre chimeneas antiguas que no continúan con las nuevas.



En la imagen 3. Se muestra la Planta de Tratamiento del Biogás.



En la imagen 4. Se muestra el esquema general de localización de chimeneas de gavión



Fuente: (GENIVAR, 2013)

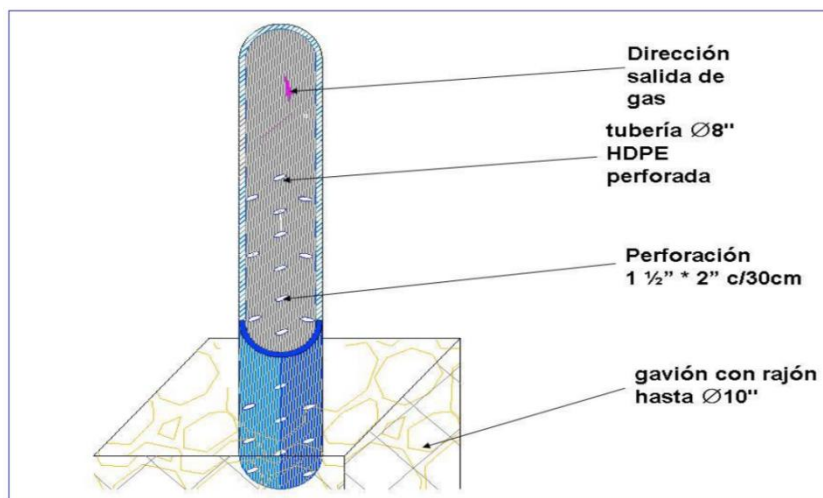
### 3.1 Drenaje de gas

El manejo de los gases producidos en el relleno debido a la descomposición de los residuos, como se indicó anteriormente, se realizará por medio de chimeneas de gavión separadas 40 m entre sí, que permitirán el espacio suficiente para la operación de la maquinaria y los vehículos recolectores.

Estas estructuras se construirán verticalmente desde la base del relleno y culminarán por encima del domo final de llenado. Son unas mallas de gavión calibre 13 de triple torsión con hueco de 10 a 12 centímetros rellenas con rajón de 10" de diámetro alrededor de un tubo de HDPE de 8" perforado, el cual estará iniciando a tan solo 30 cm del fondo del relleno, inmediatamente después del manto drenante en grava.

Para el caso de las chimeneas que se encuentran construidas y hacen parte de zonas cerradas, se deberán continuar con la misma estructura descrita anteriormente, hasta llegar a la cota final planteada en el diseño de Domo.

En la imagen 5. Se muestra la estructura de la chimenea de gavión.





#### **4. APLICACIÓN DE MODELOS SIMULADORES PARA LA PROYECCIÓN DE BIOGÁS EN EL RSDJ**

Se utilizaron dos modelos: El “MODELO LANDGEM – PROTOCOLO EPA” y “MODELO IPCC”, para determinar el potencial de la obtención del Biogás, los cuales se explicarán a continuación.

##### **4.1 Modelo LandGEM – Protocolo Epa**

El modelo Landfill Gas Emission Model (LandGEM) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), es una herramienta utilizada para estimar tasas de emisión de sitios de disposición de residuos sólidos municipales; LandGEM es uno de los modelos que se basa en una ecuación de descomposición con cinética de primer orden para la cuantificación las emisiones derivadas de la descomposición de residuos biodegradables. El modelo se utiliza para estimar las tasas de emisión total de gases de relleno sanitario como el metano, el dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, y otros contaminantes atmosféricos asociados.<sup>3</sup>

##### **4.2. Modelo IPCC**

El IPCC recomienda dos de estos métodos para la estimación de biogás con el objetivo de establecer los inventarios nacionales de gases invernadero. El primero y más sencillo de ellos corresponde a la metodología por defecto, adaptada de la metodología teórica desarrollada por Bingemer y Crutzen (1987), que se base en que todo el potencial de metano se libera en el mismo año que se depositan los residuos, este método se recomienda para regiones en las que se dificulta disponer de datos detallados sobre los residuos sólidos y se requiere realizar

estimaciones incluyen el contenido de carbono orgánico degradable en los residuos y la calidad en el manejo del sitio de disposición. Su aplicación es apropiada para estimación de emisiones regionales y de países.

El segundo y más complejo método corresponde a la metodología cinética de primer orden, también denominada modelo Scholl-Canyon, que resulta más apropiado para el cálculo de emisiones de sitios de disposición en forma individual, para la predicción de la generación de biogás durante la vida útil del relleno sanitario utilizando datos de entrada específicos.<sup>4</sup>

En el RSDJ se utilizaron los dos modelos explicados anteriormente, para el cálculo de proyección de gas, a partir de los cuales se generaron curvas y tablas de resultados comparativos para tener una mayor precisión del proceso de estimación.

Las aplicaciones de estos modelos han permitido determinar la producción de metano por concepto de manejo de residuos sólidos urbanos, con lo que puede calcularse un potencial de generación de electricidad a partir de biogás producido en sitios de disposición final.

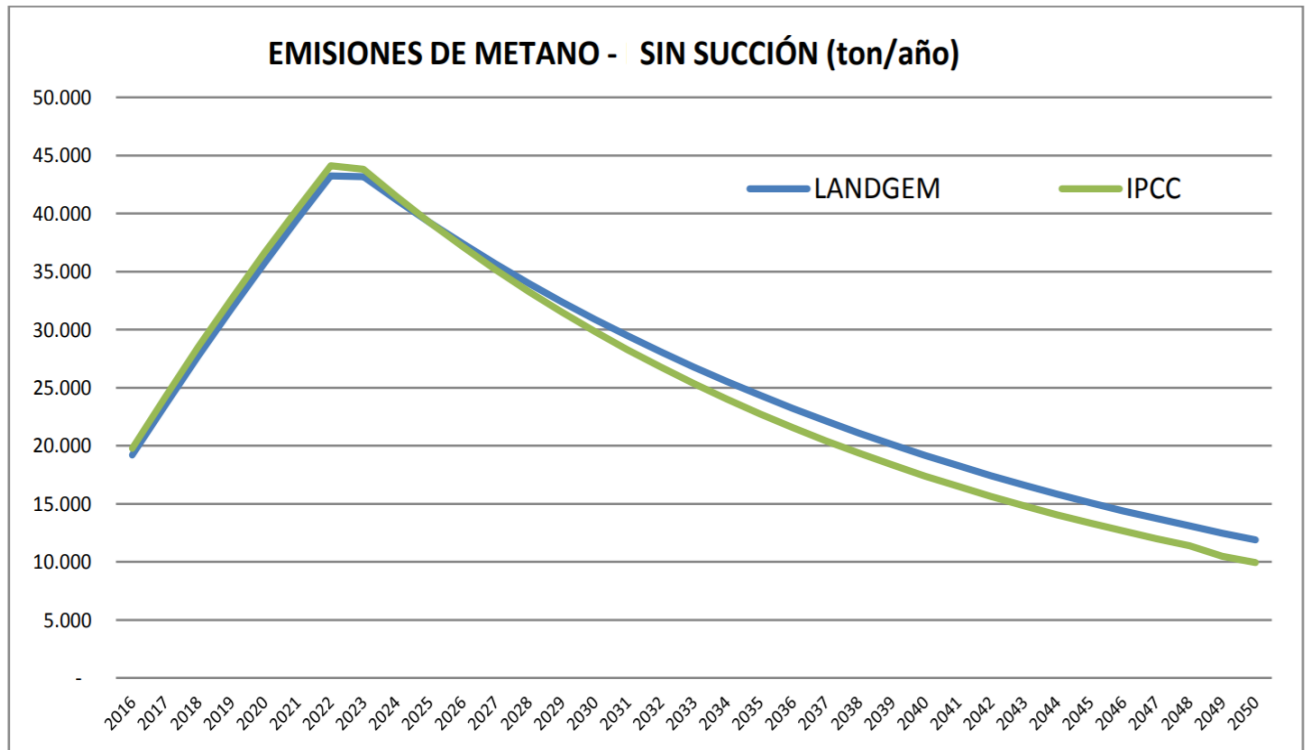
A continuación, se presentan las gráficas comparativas de emisiones de Metano, que resumen los estimados de generación de Biogás en el RSDJ con los modelos empleados.

---

3. Camargo & Vélez, A. Página 5. 2009. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales- GIMSA. Instituto de Investigaciones TropicalesINTROPIC, Laboratorio No. 7. Universidad del Magdalena.

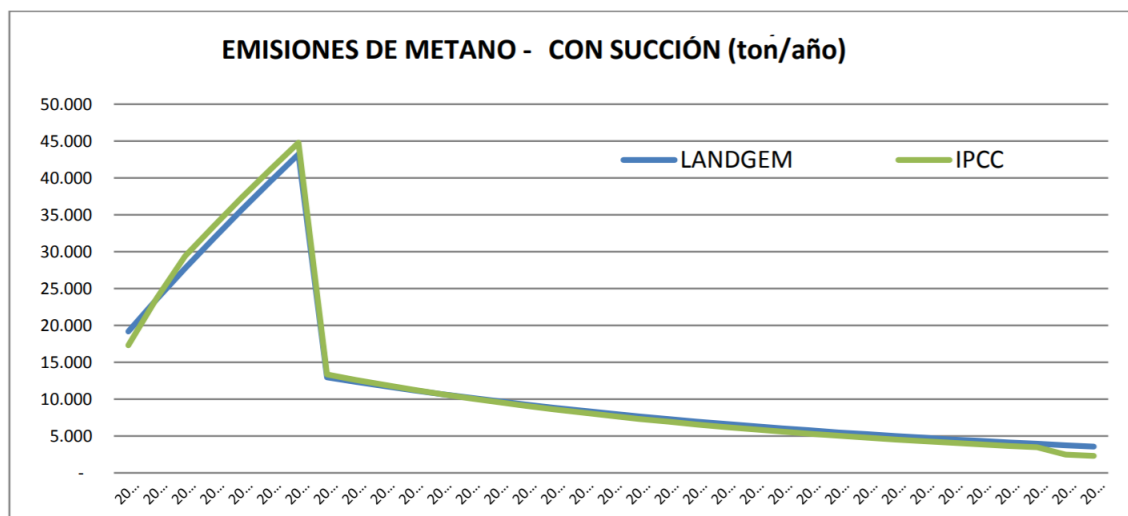
4. Camargo & Vélez, A. Página 5. 2009. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales- GIMSA. Instituto de Investigaciones TropicalesINTROPIC, Laboratorio No. 7. Universidad del Magdalena.

GRAFICA 1. EMISIÓN DE METANO SIN SUCCIÓN



FUENTE: (GENIVAR, 2013)

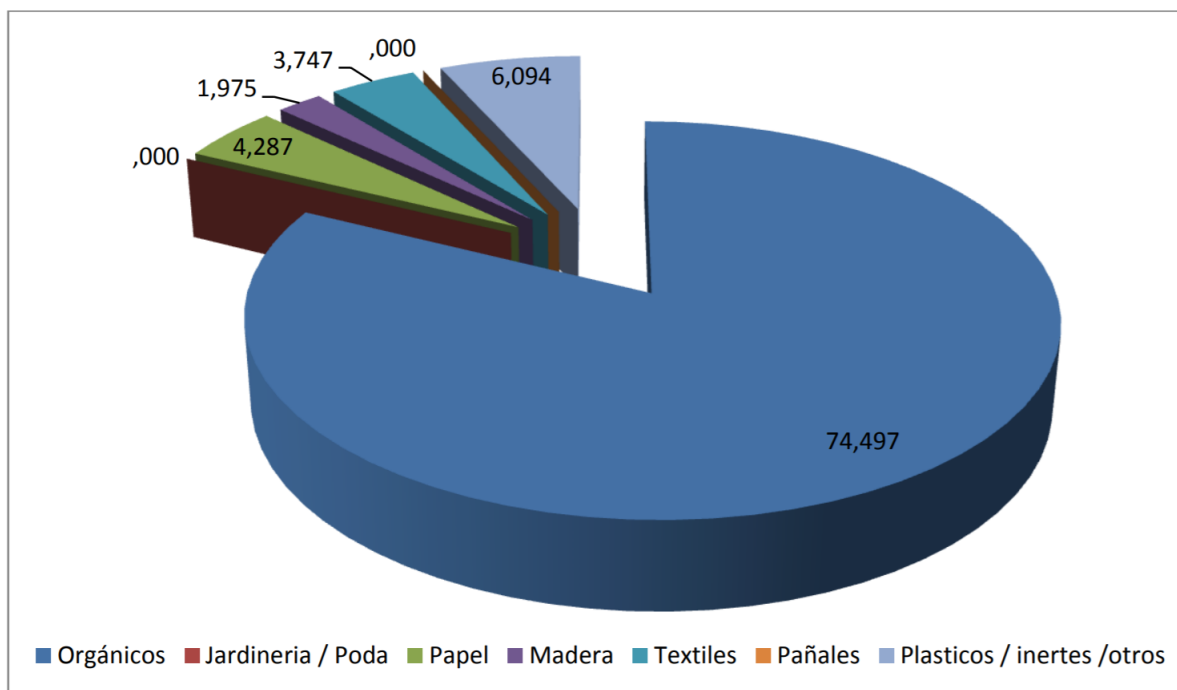
GRAFICA 2. EMISIÓN DE METANO CON SUCCIÓN



FUENTE: (GENIVAR, 2013)

Ambos modelos implementados para el proceso de determinación de las cantidades de Biogás producidos en el Relleno Sanitario Doña Juana, fueron ajustados a las condiciones reales de residuos que ingresan al proyecto y que son dispuestas durante los procesos de manejo tecnificado, sin embargo, existen diferencias significativas que favorecen el uso de la herramienta LandGEM (EPA) respecto del modelo IPCC.

En la gráfica 3. Se muestra la caracterización de los residuos que ingresan al RSDJ, ajustada al modelo IPCC.



FUENTE: (GENIVAR, 2013)

Por tanto, las variables matemáticas utilizadas y ajustadas para LandGEM específicamente son: potencial de generación de Metano ( $L_0 = 72.48 \text{ m}^3 / \text{Ton}$ ) y la tasa de degradación anual ( $K=0.04832735$ ), éstas son las realmente aplicables a las condiciones fisicoquímicas y de operación que intervienen en los procesos de disposición final de residuos sólidos del RSDJ..

## CONCLUSIONES

- El aprovechamiento de los Residuos Orgánicos por medio de la generación del biogás se convierte en una opción real a partir de su utilización en la generación de electricidad.
- En el Relleno Sanitario de Doña Juana se puede implementar un sistema de recolección de biogás para transformarlo en energía para así mitigar los gases de efecto invernadero producido en este.
- Con la implementación de dos modelos se pudo proyectar la producción de Biogás en el Relleno Sanitario (LandGEM e IPCC), estas muestran resultados similares debido a que se fundamentan en información y caracterizaciones reales de los residuos, hechos en periodos de tiempo representativos; de igual manera asumen condiciones climáticas típicas de la zona de estudio y adicionalmente utilizan ecuaciones de degradación de primer orden similares.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Unidad Administrativa de Servicios Públicos (AUESP), Área de Disposición Final.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/4100/1/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf>.

<http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1560/RodriguezLuis2014.pdf?sequence=1>.

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/26544/CNG03\\_Ferrer%20et%20al\\_II%20UPC%20SOST\\_paper.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/26544/CNG03_Ferrer%20et%20al_II%20UPC%20SOST_paper.pdf).

<http://erenovable.com/biogas-el-gas-combustible-alternativo>.

<http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos>.

[http://www.academia.edu/7032019/Proyecto\\_Biodigestor\\_generacion\\_de\\_biogas\\_a\\_partir\\_de\\_residuos\\_solidos](http://www.academia.edu/7032019/Proyecto_Biodigestor_generacion_de_biogas_a_partir_de_residuos_solidos).

[file:///Montaje\\_Biodigestores\\_Plaza\\_Mercado\\_Kennedy.pdf](file:///Montaje_Biodigestores_Plaza_Mercado_Kennedy.pdf).

<http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>.